

Для создания импортозамещающих технологий производства ГПЗС в Украине необходимы дальнейшие исследования, направленные на создание уточненной аналитической модели валковой формовки профильных труб.

Проведенное конечно-элементное моделирование формообразования профильной трубы при осадке трубной заготовки позволило определить компоненты деформированного состояния металла при разных схемах формовки.

Результаты сопоставления аналитических результатов деформированного состояния металла с экспериментальными данными при формовке профильных труб осадкой позволяют их рекомендовать для промышленного внедрения.

**Список литературы.** 1. [www.marketing-ua.com](http://www.marketing-ua.com). 2. Плеснецов Ю.О., Забара О.С., Коворотний Т.Л., Любімов М.С. Аналіз сучасного стану виробництва гнутих профілів замкнутого перетину. В сб. «Вестник Национального технического университета «ХПИ». Харьков, 2010, вып. №43, с. 146–157. 3. Докторов М.Е., Ахлестин В.Л., Кузьмис Э.В. и др. Исследование процесса формообразования замкнутых и полузамкнутых профилей. – В кн.: Разработка и исследование технологии производства гнутых профилей проката: Отрасл. сб. научн. тр. Харьков: УкрНИИМет, 1984, с. 28–34.

Надійшла до редколегії 05.11.2013

УДК.621.771.63

**Исследование деформаций металла в местах изгиба при осадке гнутых профилей замкнутого сечения / Забара А.С. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. – № 43 (1016). – С.109-114. Бібліогр.:2 назв.**

У статті проведено дослідження деформацій металу в місцях згину при осаджування трубної заготовки за допомогою методу кінцевих елементів. Проведено аналіз різних схем формоутворення. Зроблено висновок про можливість моделювання процесу осаджування заготовки з використанням методу кінцевих елементів. Встановлено найбільш відповідний певним умовам і завданням спосіб схеми формоутворення.

**Ключові слова:** гнутий профіль замкнутого перетину, моделювання, технологія, осаджування труби.

In article of deformations in the metal bends with draft tube blank by the finite element method. The analysis of the various schemes of formation. It is concluded that the possibility of modeling of rainfall harvesting, using the finite element method. Set the most appropriate specific conditions and tasks of shaping the way the scheme.

**Keywords:** bent profile of the closed section, simulation, technology, draft tube.

УДК 621.438.002.2

**Н. К. ЗЛОЧЕВСКАЯ**, асистент, НТУУ «КПІ», Київ

### **ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРНИХ ТА МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СПЛАВА СИСТЕМИ Zr-Nb В УМОВАХ ІНТЕНСИВНИХ ПЛАСТИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ\***

Встановлені закономірності формування структурних властивостей шляхом деформування в ізотермічних умовах. На основі експериментального формоутворення методом гвинтової екструзії зразків, чисельного моделювання та металографічних дослідів встановлений взаємозв'язок між ступеню інтенсивності деформацій та морфологією структури матеріалу, а також його механічними властивостями. Обґрунтовано підвищення пластичності за рахунок подрібнення структурних компонентів матеріалу.

**Ключові слова:** гвинтова уширяюча екструзія, інтенсивна пластична деформація, структурні та механічні властивості, ізотермічне пресування.

**Вступ.** Одним з напрямків підвищення конструктивної міцності та технологічності виробів машинобудування є формування в металах дрібнодисперсної та рівновісної структури за рахунок інтенсивних пластичних деформацій [1]. В результаті великих пластичних деформацій металів розміри їхніх структурних елементів (зерен, кристалів, фрагментів та інших) зменшується і досягають значень, характерних для нано- і субмікрокристалічних структурних матеріалів. Внаслідок цього важкодеформовані метали здобувають якісно нові властивості, багато з яких становлять практичний інтерес. Зокрема, вони мають високу (на 20-40% більше) міцність в поєднанні з великою пластичністю.

Найбільш поширеними методами обробки заготовок металів, що створюють великі деформації зсуву в осередку деформацій при зберіганні поперечного перерізу цієї заготовки, є рівноканальне кутове пресування (РКУ) [2], гвинтова екструзія [3], інші. Дослідження, що виконані при пресуванні цими методами широкого кола сплавів, в тому числі на матеріалах Ti-6Al-4V, Nb-Ti, BT1-0, BT3-1, Cu, 6061 та інших, показали, що межа міцності підвищилась, в середньому на 30-40%, а пластичність підвищилась на 6-8% [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]. Основні роботи в цьому напрямку виконані на деформуємих металах і сплавах.

Надзвичайно перспективним є застосування методів інтенсивної пластичної деформації для обробки важкодеформівних сплавів на основі цирконію, з метою підвищення пластичності їх перед подальшими операціями формоутворення [11, 12].

Наряду з цим в проведених роботах не достатньо повно досліджена механіка формування нової структури внаслідок великих пластичних деформацій.

**Метою роботи** є встановлення закономірностей формування властивостей сплаву системи Zr-Nb в ізотермічних умовах при гвинтовій уширяючій екструзії.

**Матеріали та методика експерименту.** Для проведення експерименту була використана комп'ютеризована установка, яка монтується на гвинтовий фрикційний прес моделі ФА-124.

Дослідна установка забезпечує реєстрацію параметрів тиску, температури, швидкості навантажень [13]. Датчиком зусиллям являється тензорезистивна мездоза кільцевого типу, яка встановлена під опорну п'ятку пресштемплеля. Підсилення сигналу мезدوزи виконується інструментальним операційним підсилювачем INA-128-P. Датчик переміщення також тензорезистивного типу і являє собою кільце діаметром 150 мм з сталюї стрічки товщиною 0,5 мм з чотирма наклеєними тензорезисторами. Сигнал датчика підсилюється підсилювачем аналогічним підсилювачу мезدوزи. При деформації (сплюснуванні) кільця в межах від 0 до 50 мм вихідний сигнал лінійно залежить від деформації. Для створення умов пресування близьких до ізотермічних контейнер штампа підігрівається до необхідної температури ніхромовою спіраллю. Живлення спіралі здійснюється від зварювального

трансформатора напругою 8...12 в (діаметр ніхромів спіралі 9 мм, довжина 1,3 м). Контроль температури контейнера здійснюється термодатом ХА, що знаходиться в контакті з контейнером. ЕРС термодат підсилюється підсилювачем виконаним на операційному підсилювачі 140 УД 608.

В експерименті використана матриця для гвинтового пресування, що забезпечує деформування за схемою «круг-еліпс-круг». В еліпсній частині матриці виконується зсув матеріалу заготовки по гвинтовій твірній. Таким чином матриця забезпечує максимальну ступень деформацій зсуву до 2,5 за один проход та додаткову рівномірну по поперечному перетину деформацію до 0,21.

Осьовий підпор заготовки для виникнення напружень стиску в осередку деформацій реалізований редукуванням з коефіцієнтом 0,93.

Зразки виконані з цирконієвого сплаву системи Zr-1%Nb, габаритні розміри заготовки: діаметр  $\varnothing 29,5$  мм, висота  $h=50$  мм. Вихідна заготовка мала характерну литу структуру.

Перед деформуванням здійснювали нагрів заготовок в печі типу СНОЛ 7,2/1100. Заготовки та оснащення нагрівали до однакової температури 750-790°C. Пресування заготовок проводили одна за одною. Швидкість пресування складала 0,7-1,0 мм/с.

**Постановка та результати дослідження та їх аналіз.** Заготовки пресувались у наступній послідовності:

1) для створення протитиску на першій операції була запресована у матрицю фальш-заготовка з алюмінієвого сплаву Д16 в холодному стані. Використання фальш-заготовки за рахунок її деформування в каналі матриці, а також за рахунок редукування (зменшення перерізу) вихідного каналу матриці дозволило створити для першої заготовки протитиск;

2) на наступних операціях проводили пресування вихідних заготовок послідовно «одна – за – одною» в необхідній кількості (рис. 1). Заготовки попередньо були розігріті в електропечі до температури деформування. Кожна попередня заготовка створювала протитиск наступній заготовці;

3) на останній операції заготовки випресовували на виліт двома випресовочними графітовими шайбами діаметром 29,5 мм та сумарною висотою 55 мм. Максимальне зусилля випресовування дорівнювало зусиллю пресування.



Рис.1. – Заготовки після послідовного пресування

На наступних переходах виконували повторне пресування заготовок, що були отримані на попередніх операціях, за схемою першого переходу після

попереднього нагріву до температур пресування. Кількість операцій повторного пресування визначало ступінь деформації заготовки для наступного дослідження.

Діаграма навантаження заготовок при пресуванні показана на рис. 2.

На рис. 2 наведено порівняння експериментальних (1) та теоретичних (2) залежностей зусилля-переміщення. Максимальна похибка теоретичного визначення зусилля чисельними методами не перевищує 12-14%. Для інших сплавів похибка теоретичного визначення зусилля не перевищує також вказаний інтервал значень.

Аналіз діаграм (див. рис. 2) показує, що на початковій стадії (режим I) виконується деформування фальш-заготовки. Після її проходження через редукуючий пояс матриці процес приймає усталений режим (режим II). В цьому режимі зусилля пресування має приблизно постійне значення  $P_0$ , яке залежить від механічних властивостей матеріалу заготовки в умовах пресування та ступеню деформації редукування.

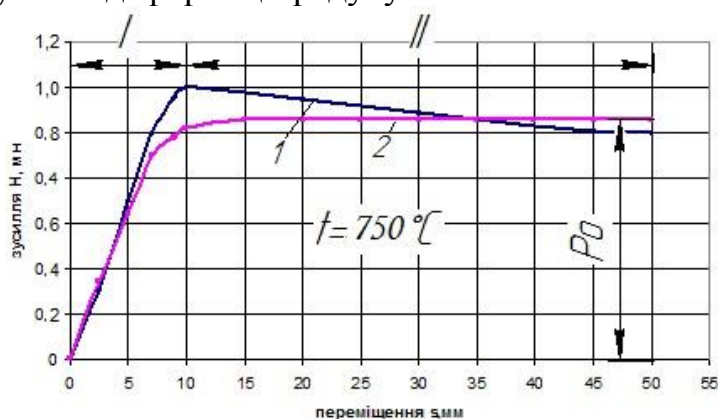


Рис. 2 – Типова діаграма залежності зусилля пресування від переміщення пуансону:

1 – експериментальна; 2 – теоретично-розрахункова

Після пресування були виконані механічні випробування деформованого металу. Залежність твердості по Вікерсу металу заготовки поздовж радіальної координати після обробки показано на рис. 3.

Механічні властивості були визначені на зразках при іспитах на розтяг відповідно з ГОСТ 1497 – 84 [14]. На рис. 4 наведені залежності величини границі текучості  $\sigma_{0,2}$  та границі міцності  $\sigma_b$  вихідного зразка та після ізотермічного гвинтового пресування.

Результати показують, що після деформування границі текучості та міцності підвищуються, в середньому на 10-12%.

Порівняння представлених на рис. 5 мікроструктур дозволяє заключити, що у повздовжньому напрямку мікроструктура сплаву практично не залежить від ступеня деформації і є однаковою в усіх областях.

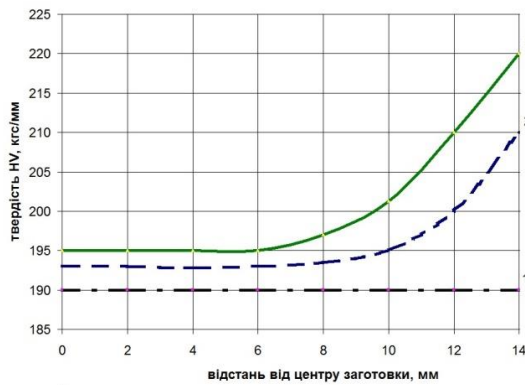


Рис. 3 – Залежність твердості по Вікерсу металу заготовки поздовж радіальної координати: 1 – вихідний стан; 2 – після першого переходу; 3 – після другого переходу

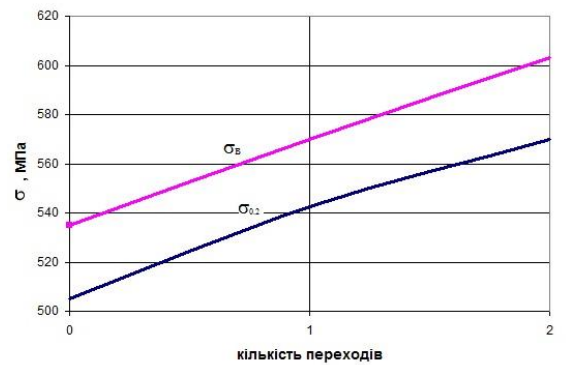


Рис. 4 – Залежність границі текучості  $\sigma_{0,2}$  та границі міцності  $\sigma_b$  від кількості обробок

Рентгенівські дослідження сплаву Zr-1%Nb після гвинтової екструзії показали, що він мав однофазний  $\alpha$ -стан.

В поздовжньому перерізі зразок мав деяку строкатість. При цьому була відмічена деяка відмінність між краєм і центром зразка, яка полягала в дещо більшому спотворенні пластин первинної  $\alpha$ -фази, а також в їх подрібненні.

Дослідження впливу ізотермічного уширяючого гвинтового пресування заготовок на гомогенність сплавів було виконано за методом академіка А.О. Лебедєва.

При обробці ізотермічним уширяючим гвинтовим пресуванням зразків зі сплаву Zr-1%Nb зміна величини коефіцієнта гомогенності відрізняється від двофазних сплавів. В процесі деформування при температурі  $750 \pm 10^\circ \text{C}$  величина коефіцієнту гомогенності підвищується пропорційно ступеню деформації зсуву, як це показано на рис. 6.

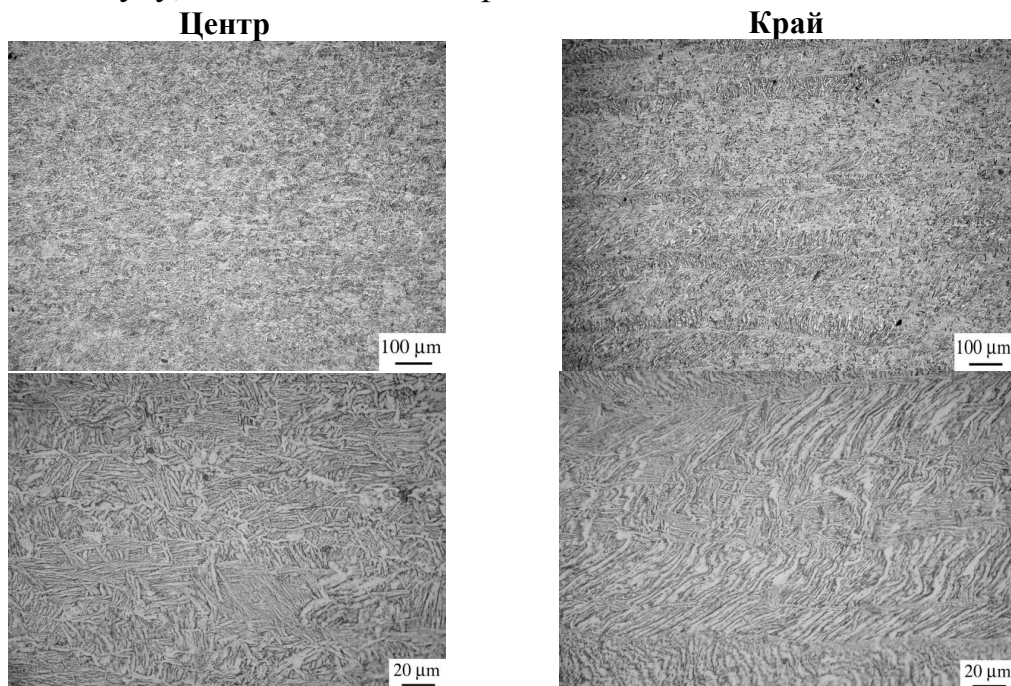


Рис. 5 – Вплив ПД обробки литих зразків із сплаву Zr 1% Nb на структуру металу в поперечній площині



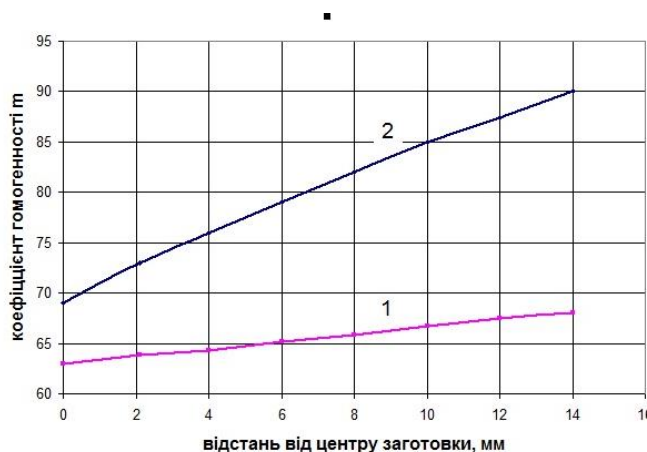


Рис. 6 – Залежність коефіцієнту гомогенності заготовки поздовж радіальної координати після: 1 – без обробки; 2 – першого проходу

Так після першого переходу уширяючого гвинтового пресування величина коефіцієнту гомогенності збільшується по поперечному перерізу зразка в центральній зоні – на 5-6%, а в крайовій зоні – на 21-23%. Як показують додаткові дослідження, тенденція збільшення коефіцієнта гомогенності зберігаються при наступному деформуванні. Це характерно для однофазних сплавів, для яких досягають рівномірне подрібнення зерна та збільшення площі міжзерених границь, на яких гальмуються дислокації.

#### Висновки.

1. Встановлені деякі закономірності формування структури та механічних властивостей при гвинтовій уширяючій екструзії сплаву системи Zr-Nb в ізотермічних умовах.

2. Експериментально показано, що використання гвинтової уширяючої екструзії для сплаву системи Zr-Nb забезпечує подрібнення та орієнтацію структурних компонент  $\alpha$  – фази пропорційно ступеню інтенсивних пластичних деформацій зсуву. Це забезпечує підвищення механічних властивостей матеріалу сплаву на 10-12% та підвищення його гомогенності.

**Список літератури:** 1. Schuh C.A. The effect of solid solution W additions on the mechanical properties of nanocrystalline Ni/ C.A. Schuh, T.G. Nieh, H. Iwasaki // Acta Materialia. – 2003. – v.51. -P.431-443. 2. Боткін А.В. Деформационные и силовые параметры процесса равноканального углового прессования длинномерной заготовки по схеме «Conform»/А.В. Боткін, Р.З. Валієв, А.Н. Абрамов, А.Г. Рааб // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением – 2009. № 11, с 8-14 3. Бейгельзімер Я.Е. Винтовое прессование: технологические аспекты/ Я.Е Бейгельзімер, Д.В. Орлов, С.Г. Синков, А.В.Решітов. // Физика и техника высоких давлений.-2002.- Том №12, №4, с. 40-46. 4. Бейгельзімер Я. Є. Уширяющая экструзия как метод устранения неравномерности свойств по сечению заготовки./ Я.Е Бейгельзімер, А.В.Решітов, С.Г. Синков // ВІСНИК Домбаської державної машинобудівної академії, 2005, №2, с.57-61. 5. Саїтова Л.Р. Повышение механических свойств сплава Ti-6Al-4V способами равноканального углового прессования и последующей пластической деформации./ Л. Р. Саїтова, І. П. Семенова, Г. І. Рааб, Р. З. Валієв // Физика и техника высоких давлений 2004, том 14, №4, с. 19-23. 6. Матросов Н.І. Влияние равноканального многоугольного прессования на структуру, фазовый состав и свойства сплава Nb-Ti / Н.І.Матросов, В.В.Чішко, В.Ю.Дмитренко, Є.А. Павловская, Л.Ф. Сеннікова, В.З.Спусканюк, В.В. Чабаненко, С.В. Васильєв, Е.А. Медведская, Б.А.Шевченко // Физика и техника высоких давлений 2005, том 15, №1. С.95-53. 7. Кориунов А.І. Исследование влияния количества циклов равноканального углового прессования на скоростную чувствительность титана ВТ1-0/А.І. Кориунов, І.І. Ведерніков, Л.В. Поляков, А.А. Смоляков, Т.Н. Кравченко, І.В. Коротченко // Физика и техника высоких давлений 2006, том. 16, №4. С. 68-71. 8. Мурашкін М.Ю. Особенности структуры и механические свойства алюминиевого сплава 6061, подвергнутого обработке равноканальным угловым прессованием в параллельных

каналах /М.Ю. Мурашкін, Є.В. Бобрук, А.Р. Кільмаметов, Р.З. Валієв // Физика металлов и металловедение, 2008, том 108, №4, С. 439-447. 9 Варюхін В.Н. Влияние винтовой гидроэкструзии и прокатки на изменение субмикроструктуры меди /В.Н. Варюхін, Е.Г. Пашинская, С.В. Добаткін, С.Г. Синков, В.М. Ткаченко, А.В. Решетов // Физика и техника высоких давлений 2002, том 12, №4, с.53-59. 10. Павленко Д.В. Применение винтовой экструзии для получения субмикроструктурной структуры и гомогенизации титанового сплава ВТ3-1. / Д.В. Павленко, А.В. Овчинников, А.Я. Качан, В.Г. Шевченко, Я.С.Бейгельзимер, Т.П. Заїка, А.В. Решетов, Р.Ю. Кулагін. // Вестник двигателестроения-2007, №2,-с.185-188. 11. Шевелев А.И. Комбинированная деформационная обработка вторичных алюминиевых сплавов /А.И.Шевелев, В.Н. Варюхин, С.Г.Сынков, А.В.Решетов// Физика и техника высоких давлений -2005 – т.15, №1, с. 139-145.12. Шевелев А.И. Повышение пластичности литых вторичных алюминиевых сплавов интенсивной пластической деформацией методом винтовой экструзии. /А.И.Шевелев, А.В.Решетов, Я.Е. Бейгельзимер и др. // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні:Зб. наук. праць. –Луганськ. – -2004 – ч.1, с. 172-189. 13. Добровлянський С.М. Установка для дослідження пресування в ізотермічних умовах./ С.М.Добровлянський, П.С. Вишневський, С.Ф.Калантур, Н.К.Злочевська// Вестник НТУУ «КПІ». Серия «Машиностроение». – 2009. № 56. с. 189-192. 14. ГОСТ 1583-93

Надійшла до редколегії 03.11.2013

УДК 621.438.002.2

**Закономірності формування структурних та механічних властивостей сплава системи Zr-Nb в умовах інтенсивних пластичних деформацій / Злочевська Н. К. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. – № 43 (1016). – С.114-120. Бібліогр.:13 назв.**

Установлены закономерности формирования структурных свойств путем деформирования в изотермических условиях. На основе экспериментального формообразования методом винтовой экструзией образцов, численного моделирования и металлографического исследования установлена взаимосвязь между степенью интенсивности деформаций и морфологией структуры материала, а также его механическими свойствами. Обосновано повышение пластичности за счет измельчения структурных компонентов материала.

**Ключевые слова:** винтовая уширяющая экструзия, интенсивная пластическая деформация, структурные и механические свойства, изотермическое прессование

The regularities of formation of the structural properties were determined by deformation in isothermal conditions. The relationship between deformation intensity, structure of material and his mechanical properties was established on the base of experimental forming by the method of helical forging of workpieces, on the base of finite element modeling and metallographic investigation. It was grounded that the plasticity increases at the cost of the refinement of structure components of material.

**Keywords:** helical extending extrusion, severe plastic deformation, structural and mechanical properties, isothermal pressing

УДК 621. 683

**В. Л. КАЛЮЖНИЙ**, докт. тех. наук, проф., НТУ У «КПІ», Київ;

**В. В. ПІМАНОВ**, асистент, НТУ У «КПІ», Київ;

**Я. С. ОЛЕКСАНДРЕНКО**, студ.; НТУУ «КПІ», Київ.

## **ВПЛИВ КУТА КОНУСУ ПУАНСОНУ НА СИЛОВІ РЕЖИМИ І ЯКІСТЬ ВИРОБІВ ПРИ РОЗДАЧІ ТРУБЧАСТИХ ЗАГОТОВОК ІЗ СТАЛІ 12Х18Н10Т**

Методом скінченних елементів проведено математичне моделювання роздачі в холодному стані трубчастої заготовки із сталі 12Х18Н10Т конусним пуансоном. Встановлено вплив кута конусу пуансону на зусилля роздачі, напружено-деформований стан і ресурс пластичності здеформованого металу до моменту втрати стійкості геометричної форми заготовки. Визначені кінцеві форма і